

Zeitverhalten und Einflussgrößen von applizierten Klebstoffschichten zwischen mehrschnittigen Fügepartnern beim Widerstandspunktschweißen

S. Brechelt, H. Wiche

TU Clausthal / Clausthaler Zentrum für Materialtechnik

sascha.brechelt@tu-clausthal.de, sekretariat@czm.tu-clausthal.de

V. Wesling

TU Clausthal / Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren

office@isaf.tu-clausthal.de

Abstract

Mit den zunehmenden Anforderungen an die Festigkeit, Steifigkeit sowie an die Crashsicherheit bei automobilen Stahlkarosserien sind zusätzliche Klebstoffapplikationen zwischen den einzelnen Blechebenen heute ein gängiges Verfahren. Diese Klebstoffe weisen auch bei niedrigen Temperaturen und hohen Umformgeschwindigkeiten ein zähhartes Werkstoffverhalten auf. Durch dessen Anwendung und der daraus folgenden Ausweitung der Leistungsfähigkeit moderner Karosserien, können Querschnitte von profilierten Blechplatinen oder Tailored-Blanks geringer bemessen werden. In Folge dessen entsteht ein großes Potential in den Bereichen von Insassensicherheit, Gewichtsoptimierung und Kraftstoffeffizienz.

Den mehrheitlich vorherrschenden positiven Aspekten von verklebten Blechdickenkombinationen stehen einige Herausforderungen gegenüber. Der maßgeblich erhöhte Kontaktwiderstand zwischen den einzelnen Fügepartnern verändert das bisher beherrschbare Prozessverhalten des Widerstandspunktschweißens. Aufgrund der Veränderungen kommt es zur vermehrten Bildung von Schweißspritzern und somit zu einer Verringerung des stabilen Prozessbereichs. Aufgrund der notwendigen Elektrodenvorhaltezeit tritt bei den applizierten Klebstoffschichten ein ausgeprägter Verdrängungseffekt auf. Dieser Effekt besitzt eine starke Zeitabhängigkeit und wird weiterhin von den jeweiligen Materialkombinationen (Blechdicke, Verformungswiderstand) und den Prozessgrößen (Elektrodengeometrie, Elektrodenkraft, Vorhaltezeit) maßgeblich beeinflusst.

Auf Grundlage von gängigen Prozessgrößen sollen das Zeitverhalten und der Einfluss der applizierten Klebstoffschichten auf das Prozessverhalten untersucht werden. Hierzu werden Untersuchungen an drei Materialkombinationen mit unterschiedlichen mechanischen und elektrischen Eigenschaften vorgenommen. Durch dieses Vorgehen werden Abweichungen sowie Veränderungen an den jeweiligen stabilen Prozessbereichen aufgezeigt. Die Beobachtungen werden weiterhin durch ein integriertes dynamisches Messverfahren zur Erfassung relevanter elektrischer Kenngrößen während des Fügeprozesses beschrieben.

1 Einleitung

Das Widerstandspunktschweißen ist das gängigste Verfahren zum Fertigen von automobilen Karosserien. Neben den geringen Prozesszeiten und der hohen Reproduzierbarkeit zeichnet sich dieses Verfahren besonders durch geringe Anlagen- sowie Prozesskosten aus. Eine weitere Leistungssteigerung dieses Fügeprozesses ist durch den Einsatz hybrider Verfahren möglich. Das Punktschweißkleben ist in der heutigen Fertigung automobiler Karosserien weitestgehend etabliert und bietet weitreichende Vorteile gegenüber dem konventionellen Verfahren. Hierzu zählen unter anderem die Steigerung der Karosseriesteifigkeit und die Verbesserung der akustischen Dämpfungseigenschaften. Weiter können durch den Einsatz zähharter Klebstoffe Einzelblechdicken geringer bemessen werden, wodurch eine Gewichtsreduzierung von Karosserien bei gleichzeitig gesteigerter Crashesicherheit realisiert werden kann [1, 2].

Wie auch beim Widerstandspunktschweißen entstehen beim Punktschweißkleben Herausforderungen, die ein qualitätsgerechtes Fügen von mehrschnittigen asymmetrischen Blechkombinationen erschweren. Somit existieren definierte Anforderungen an die Linsenausbildung bei zweischnittigen Komponenten, wodurch die Schweißlinse eine hinreichende Anbindung aller beteiligten Fügepartner erreichen muss. Durch das Schweißen von asymmetrischen Blechkombinationen entsteht aufgrund einer ungleichmäßigen Verteilung der elektrischen Widerstände und der Wärmeabführung durch die wassergekühlten Elektroden eine Verschiebung der Schweißlinse in Richtung der beiden dickwandigsten Fügepartner. Eine stoffschlüssige Anbindung eines dünnen außenliegenden Blechs ist somit erschwert. Das Punktschweißkleben führt aufgrund der Klebstoffapplikationen zu einer Anhebung der einzelnen Kontaktwiderstände. Erschwerend kommt hinzu, dass aufgrund der einsetzenden Elektrodenpressung eine ungleiche Klebstoffverdrängung in Abhängigkeit der Verformungswiderstände der jeweiligen Fügepartner eintritt. Die Verschiebung der Schweißlinse wird somit in Richtung der beiden dickwandigsten Fügepartner durch eine gehemmte Klebstoffverdrängung weiter begünstigt.

2 Methodik des Punktschweißlebens

Die Beurteilung und Bewertung von Punktschweißklebungen ist überschneidend mit dem Verfahren des Widerstandspunktschweißens und richtet sich nach den Vorgaben aus [3 – 5]. Punktschweißklebungen sind qualitätsgerecht, wenn die Ergebnisse durch die verwendeten Prozessgrößen im stabilen Prozessbereich liegen. Der stabile Prozessbereich der Widerstandsschweißverfahren wird als Schweißbereich bezeichnet und ist durch die untere sowie obere Prozessgrenze definiert. Die untere Prozessgrenze ist erreicht, wenn die Schweißlinse in jeder Fügeebene den Mindestlinsendurchmesser d_{\min} aufweist, die nach der Gleichung (1) zu bestimmen ist.

$$d_{\min} = 4 \cdot t^{0,5} \text{ (mm)} \quad (1)$$

Hierbei wird t durch die Blechdicke des dünneren Fügepartners in einer Fügeebene beschrieben. Das Ende des oberen Prozessbereichs wird durch das wiederholte Erreichen der Spritzergrenze definiert, in dem Schweißungen aufgrund eines zu hohen Energieeintrags zu einem Ausstoßen des schmelzflüssigen Werkstoffs aus der Fügezone führen. Neben dem Schweißstrom besitzen die Schweißzeit und die Elektrodenkraft einen grundlegenden Einfluss auf die Schweißbarkeit einer Verbindung. Somit ist die Darstellung des Schweißbereichs als ein kartesisches System des Schweißstroms und einer weiteren der beiden Bezugsgrößen möglich. Exemplarisch ist im Folgenden das Schweißbereichsdiagramm mit den Variablen Schweißstrom sowie Elektrodenkraft dargestellt.

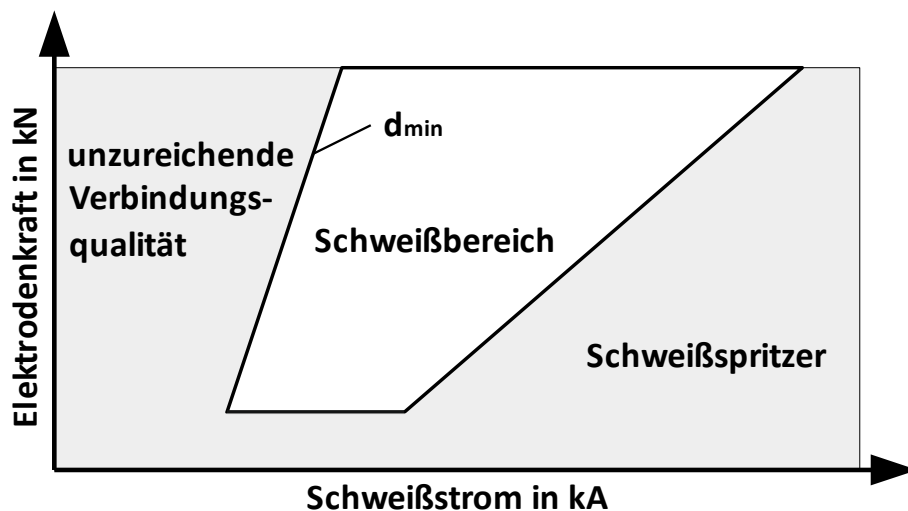


Abb. 1: Schweißbereichsdiagramm

Die Erstellung eines Schweißbereichsdiagramms ist in [6] beschrieben. In dem dargestellten Fall ist der Schweißbereich durch die Wahl von mindestens zwei Elektrodenkraftniveaus zu bestimmen. Für das Erreichen des Mindestlinsendurchmessers d_{\min} sind

in Abhängigkeit der Elektrodenkraft unterschiedliche Schweißstromstärken erforderlich. Dies begründet sich durch die Abhängigkeit der einzelnen Kontaktwiderstände von der wirkenden Elektrodenkraft auf eine zu schweißenden Verbindung.

3 Hypothese & Vorgehen

Im Bereich des Punktschweißklebens sind die Kontaktwiderstände aufgrund der Klebstoffapplikationen zwischen den einzelnen Fügepartnern erhöht. Während der Elektrodenvorhaltezeit kommt es zu einem Verdrängungseffekt des Klebstoffs und somit zu einem Abfallen der einzelnen Kontaktwiderstände.

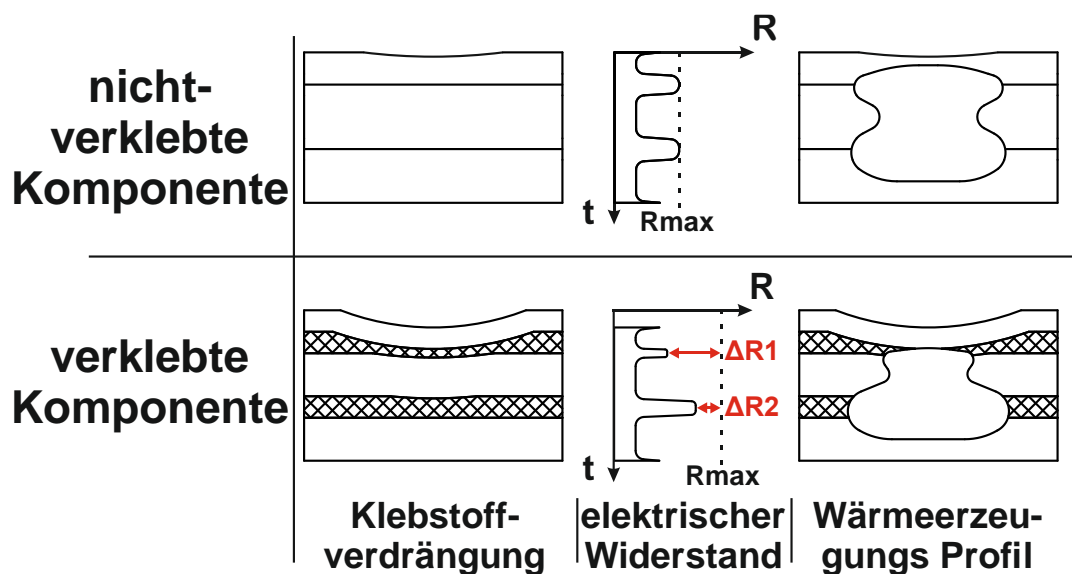


Abb. 2: Effekt der Klebstoffverdrängung

Eine unverklebte Komponente weist vergleichbare Kontaktwiderstände zwischen den jeweiligen Fügepartnern auf, die primär von den Oberflächenbedingungen der verwendeten Werkstoffe abhängen. Das mit dem Einsetzen des Schweißprozesses entstehende Wärmeerzeugungsprofil ist somit homogen über die Komponente verteilt. Der Verdrängungseffekt des Klebstoffes ist abhängig von den verwendeten Werkstoffen (Verformungsverhalten), von den gewählten Blechdicken (Flächenträgheitsmoment) und der Blechanordnung (Widerstandsprofil). Weiter besitzen prinzipiell die verwendeten Prozessgrößen wie Elektrodenkraft und Vorhaltezeit einen Einfluss auf den Verdrängungseffekt. Im weiteren Verlauf werden die Einflussgrößen der Elektrodenkraft sowie der Vorhaltezeit auf den Verdrängungseffekt des Klebstoffs und somit auf mögliche Veränderungen des Prozessverhaltens untersucht. Hierzu sind in Tab. 1 und Tab. 2 die verwendeten Probenkörper und die Prozessgrößen dargestellt.

Tab. 1: Probenkörper

Probenkörper 1 & 2		Material 1 & 2	Probenkörper 3	Material 3	Polung
<i>DX51D+Z</i>	<i>DX51D+Z</i>	<i>0,7 mm</i>	<i>DX51D+Z</i>	<i>0,7 mm</i>	<i>+</i>
<i>Sika Power 492</i>		<i>Klebstoff</i>	<i>Sika Power 492</i>	<i>Klebstoff</i>	
<i>DX51D+Z</i>	<i>HX340LAD+Z</i>	<i>1,5 mm</i>	<i>22MnB5+AS</i>	<i>1,7 mm</i>	
<i>Sika Power 492</i>		<i>Klebstoff</i>	<i>Sika Power 492</i>	<i>Klebstoff</i>	
<i>DX51D+Z</i>	<i>HX340LAD+Z</i>	<i>1,5 mm</i>	<i>22MnB5+AS</i>	<i>1,7 mm</i>	<i>-</i>

Tab. 2: Prozessgrößen

		Probenkörper 1 & 2		Probenkörper 3	
Vorhaltezeit		<i>1000 ms</i>		<i>1000 ms</i>	
Vorimpuls	Schweißstrom	<i>7,8 kA</i>		<i>5,5 kA</i>	
	Schweißzeit	<i>250 ms</i>		<i>250 ms</i>	
Pausenzeit		<i>20 ms</i>		<i>20 ms</i>	
Hauptimpuls	Schweißstrom	<i>variabel</i>		<i>variabel</i>	
	Schweißzeit	<i>350 ms</i>		<i>350 ms</i>	
Nachhaltezeit		<i>300 ms</i>		<i>300 ms</i>	
Elektrodenkraft		<i>2 kN</i>	<i>3 kN</i>	<i>2 kN</i>	<i>3 kN</i>
Elektrodenkappengeometrie		<i>DIN EN ISO 5821 – F1-16-20-40-6</i>			

Die Probenkörper setzen sich aus Materialkombinationen zusammen (zwei Tragbleche [dickwandig] & ein Außenblech [dünnwandig]), die in ihrem mechanischen Eigenschaftsprofil möglichst große Unterschiede aufweisen. Die Wahl der Tragbleche führt zu Unterschieden im Verformungsverhalten des Probenkörpers und somit zu abweichenden Ausprägungen der Klebstoffverdrängung während der Elektrodenvorhaltezeit. Folgend sind die Festigkeitskennwerte der verwendeten Werkstoffe dargestellt.

Tab. 3: Werkstoffe - Festigkeitskennwerte

Werkstoff	Streckgrenze R_e in N/mm^2	Zugfestigkeit R_m in N/mm^2
<i>DX51D+Z</i>	<i>-</i>	<i>270 bis 500</i>
<i>HX340LAD+Z</i>	<i>340 bis 420</i>	<i>410 bis 510</i>
<i>22MnB5+AS</i>	<i>~ 1000</i>	<i>~ 1500</i>

4 Schweißbereichsbestimmung

Für die Schweißbereichsbestimmung werden die Probenkörper 1 und 3 aufgrund der großen Differenzen in ihrem Verformungsverhalten herangezogen. Zur Anwendung

kommen die in Tab. 2 dargestellten Prozessgrößen, wodurch der Einfluss der Elektrodenkraft auf die Schweißbereiche bestimmt werden kann.

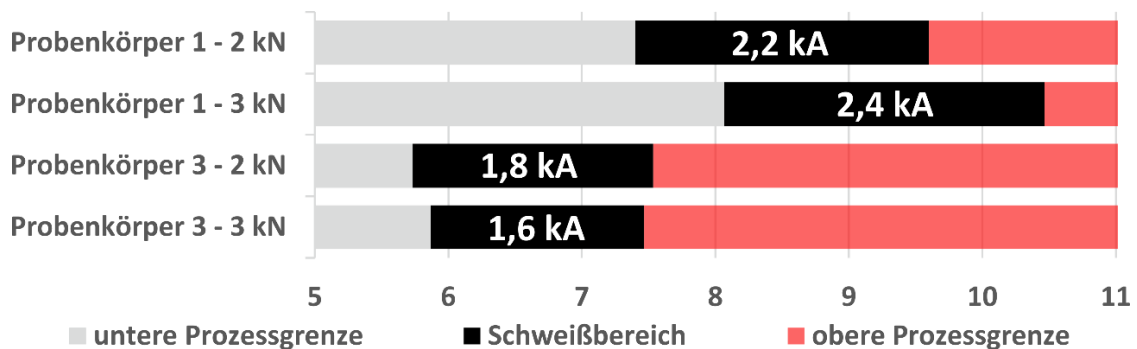


Abb. 3: Schweißbereiche - Probenkörper 1 & 3

Die in Abb. 3 dargestellten Ergebnisse entstammen aus dem arithmetischen Mittel von jeweils drei Versuchsdurchläufen in Anlehnung an [4]. Hierdurch erfolgt die Festlegung der unteren Prozessgrenze durch Erreichen des Mindestpunktdurchmessers d_{\min} , welcher durch eine Meißelprüfung der geschweißten Bleche zu ermitteln ist. Die obere Prozessgrenze ist definiert durch das wiederholte Auftreten eines Schweißspritzers bei gleicher Schweißstromstärke.

Es ist erkennbar, dass sich die ermittelten Schweißbereiche des Probenkörpers 1 in relativ hohen Stromstärkebereichen befinden. Dies ist auf die hohe Verformbarkeit des Probenkörpers zurückzuführen, wodurch die Stromdichte zwischen den Elektroden gering ist sowie die großen Kontaktflächen zwischen Elektroden und Probenkörper zu einer zunehmenden Ableitung der Wärme führt. Des Weiteren kommt es aufgrund der leichten Verformbarkeit zu einem zeitlich schnellen Voranschreiten der Klebstoffverdrängung. Hierdurch kommt es zu einer Abnahme der einzelnen Kontaktwiderstände und somit zu einer geringeren Wärmeerzeugung in der Fügeebene. Folglich sind für eine Anbindung aller Fügepartner hohe Stromstärken notwendig. Aufgrund des hochfesten Werkstoffs 22MnB5 kommt es beim Schweißvorgang des Probenkörpers 3 zu höheren Stromdichten und somit zu einer Schweißlinsenausbildung im Bereich niedriger Stromstärken. Des Weiteren kommt es aufgrund des intermetallischen Oberflächenzustands des Werkstoffs 22MnB5 und der daraus resultierenden hohen Kontaktwiderstände zu einer höheren Energieerzeugung in der Verbindung. Der Effekt der Klebstoffverdrängung ist aufgrund der geringen Verformbarkeit des hochfesten Materials 22MnB5 gehemmt. Somit kommt es zwischen den beiden Tragblechen aufgrund des hohen Übergangswiderstands zu einer höheren Wärmeerzeugung. Die Schweißlinsenbildung im Bereich niedriger Stromstärken wird somit weiter begünstigt.

Unter Berücksichtigung der Lage der jeweiligen Schweißbereiche ist durch Erhöhung der Elektrodenkraft von 2 auf 3 kN ein unterschiedlicher Einfluss erkennbar. Mit höherer Elektrodenkraft verschiebt sich der Schweißbereich des Probenkörpers 1 in Richtung höherer Schweißströme. Aufgrund des Verformungsvermögens ist anzunehmen, dass die Kontaktwiderstände mit steigenden Elektrodenkräften kontinuierlich abnehmen und die Stromdichte aufgrund der zunehmenden Kontaktfläche zwischen Elektroden und Probenkörper verringert ist. Die gleichen Zusammenhänge können hier ebenfalls als Ursache betrachtet werden, dass die obere Prozessgrenze gegenüber der Vergleichsreihe deutlich angehoben ist. Eine deutliche Verschiebung der Prozessgrenzen durch höhere Elektrodenkräfte ist beim Probenkörper 3 nicht zu erkennen. Die Materialkombination weist durch Verwendung des borlegierten Vergütungsstahls einen weitaus höheren Widerstand gegen Verformung auf, wodurch die Änderungen der Kontaktwiderstände, Stromdichte und Wärmeableitung im Vergleich geringer ausfallen. Durch die Erhöhung der Elektrodenkraft kommt es bei beiden Probenkörpern zu einer Änderung der Schweißbereichsbreite von $\sim 10\%$. Diese Änderungen liegen jedoch im Bereich der Streuung der einzelnen Versuchsdurchläufe, wodurch keine Veränderung der Schweißbereichsbreite zwischen den genutzten Elektrodenkräften von 2 und 3 kN zu erkennen ist.

5 Linsenausformung in Abhängigkeit der Elektrodenkraft

Neben der Meißelprüfung, wodurch die Ermittlung des Mindestpunktdurchmesser d_{\min} im Umfang der Schweißbereichsbestimmung möglich ist, können durch metallographische Untersuchungen des Fügequerschnitts weitere Informationen gewonnen werden. Folgend sind in Abb. 4 und Abb. 5 die Fügequerschnitte der Probenkörper 1 und 3 dargestellt. Die Ergebnisse entstammen Untersuchungen mit den in Tab. 2 dargestellten Prozessgrößen, wobei der Hauptimpulsstrom 9 kA (Probenkörper 1) bzw. 7 kA (Probenkörper 3) beträgt. Des Weiteren sind die erzeugten Gesamtenergiemengen während des Schweißprozesses von Vor- und Hauptimpuls dargestellt.

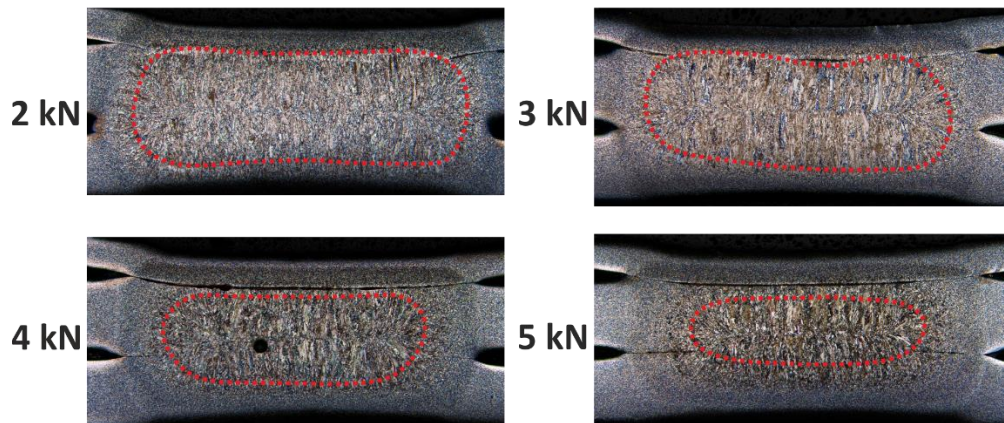
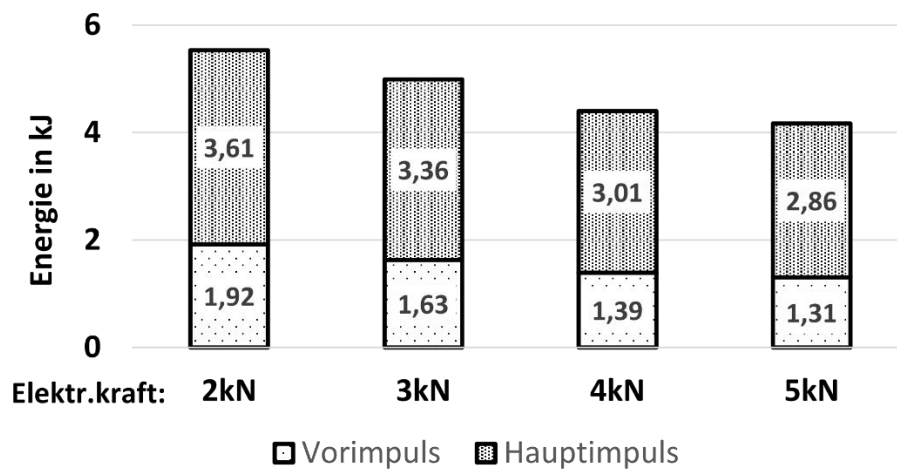


Abb. 4: Linsenausformung - Probenkörper 1

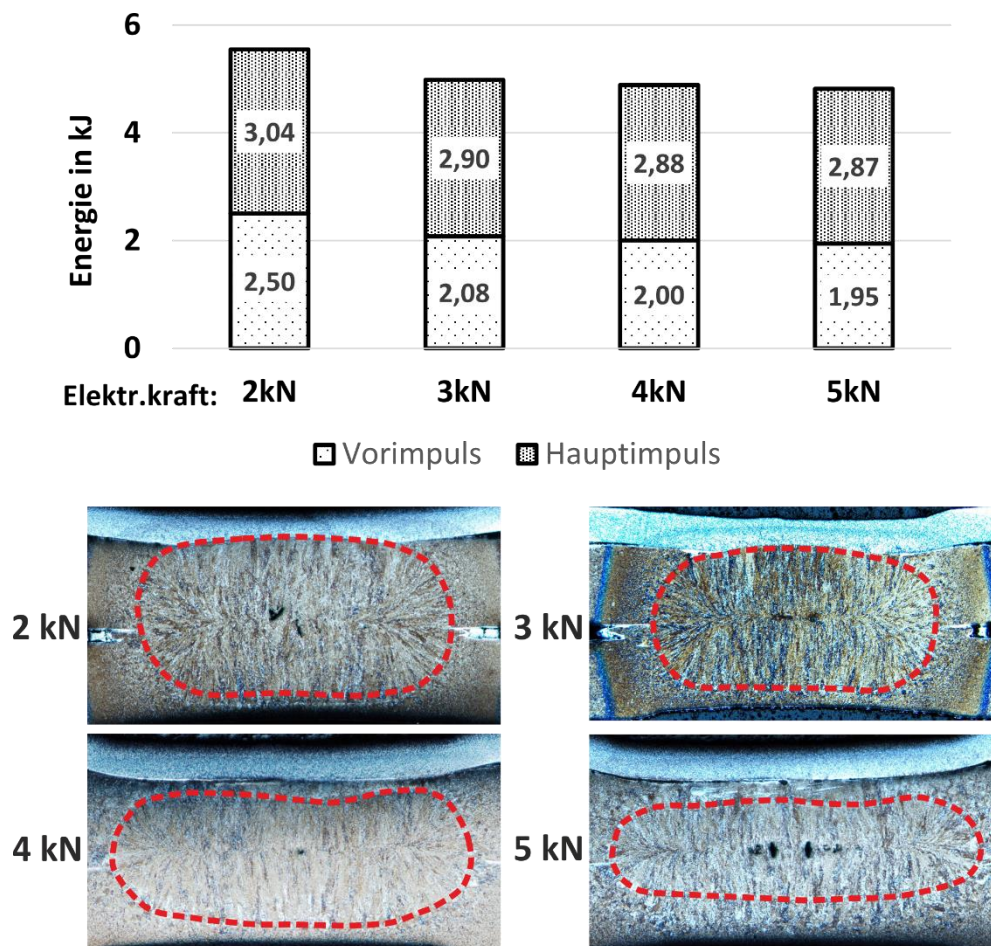


Abb. 5: Linsenausformung - Probenkörper 3

Eine Erhöhung der Elektrodenkraft führt generell zu verringerten Kontaktwiderständen, wodurch eine Abnahme der erzeugten Gesamtenergiemenge eintritt. In Abb. 4 erfolgt die Abnahme der Gesamtenergie im Elektrodenkraftbereich von 2 bis 5 kN kontinuierlich. Der geringe Verformungswiderstand des Probenkörpers führt zu einer fortlaufenden Plastifizierung des Materials. Aufgrund der Abnahme der erzeugten Gesamtenergie und der gleichzeitig steigenden Wärmeableitung, kommt es zu einer Hemmung der Linsenausbildung und zu einer Verschiebung der Schweißlinse in Richtung der beiden dickwandigen Tragbleche. Dieser Effekt ist ebenfalls in der Abb. 5 erkennbar, wobei die Abnahme der Gesamtenergie nur im Bereich niedriger Elektrodenkräfte zwischen 2 und 3 kN auftritt. Eine weitere Steigerung der Elektrodenkraft führt lediglich zu einer Stagnation des Gesamtenergiebetrags. Dennoch ist erkennbar, dass es durch höhere Elektrodenkräfte zu einer Verschiebung der Linsenausbildung und somit zu einer abnehmenden Anbindung des dünnwandigen Außenblechs kommt. Eine Plastifizierung des Probenkörpers 3 ist bei den gewählten Elektrodenkräften nur im Bereich des dünnwandigen Außenblechs zu erwarten.

Die in Abb. 4 und Abb. 5 dargestellten Fügequerschnitte für eine Elektrodenkraft von 2 und 3 kN liegen im jeweiligen Schweißbereich. Beide Probenkörper weisen bei einer Elektrodenkraft von 2 kN eine vollständige Anbindung des dünnwandigen Außenblechs auf. Diese stoffschlüssige Anbindung des Außenblechs ist beim Probenkörper 1 bei einer Elektrodenkraft von 3 kN jedoch partiell nicht vorhanden. Somit ist es empfohlen für die Ermittlung des Schweißbereichs neben dem Mindestpunktdurchmesser ebenfalls die Linseneindringtiefe in allen Fügepartnern durch metallographische Untersuchungen des Fügequerschnitts zu verifizieren. Jedoch existieren bisher keine geregelten Vorgaben für die Bewertung der minimalen Linseneindringtiefe in der Durchführung von Schweißbereichsuntersuchungen. Weiterhin ist durch nachfolgende Untersuchungen festzustellen, ob die aufgezeigten mittigen Anbindungsfehler bei einer Elektrodenkraft von 3 kN der untersuchten Blechdickenkonfiguration ausschließlich auf verklebte Verbindungen beschränkt sind oder ob diese ebenfalls bei nichtverklebten Verbindungen auftreten.

6 Energieerzeugung in Abhängigkeit der Elektrodenvorhaltezeit

Die applizierten Klebstoffschichten besitzen einen grundlegenden Einfluss auf die Höhe des elektrischen Widerstands, der sich mit dem Einsetzen des ersten Schweißimpulses einstellt. Während der Elektrodenvorhaltezeit kommt es im Bereich der Fügezone zu einem Verdrängungseffekt des Klebstoffs. Die Klebstoffverdrängung erfolgt hierbei in Abhängigkeit der Flächenpressung (Elektrodengeometrie, Elektrodenkraft, Vorhaltezeit) und der Materialkombination (Blechdicke, Verformungswiderstand). Die Zeitabhängigkeit des Verdrängungseffekts soll im ersten Schritt durch die Ermittlung der Energiemenge nachgewiesen werden, die durch den Vorimpuls in der Verbindung erzeugt wird. Daher ist in der Abb. 6 exemplarisch am Probenkörper 2 und 3 die im Vorimpuls erzeugte Energie in Abhängigkeit der Vorhaltezeit im Bereich niedriger Elektrodenkräfte dargestellt.

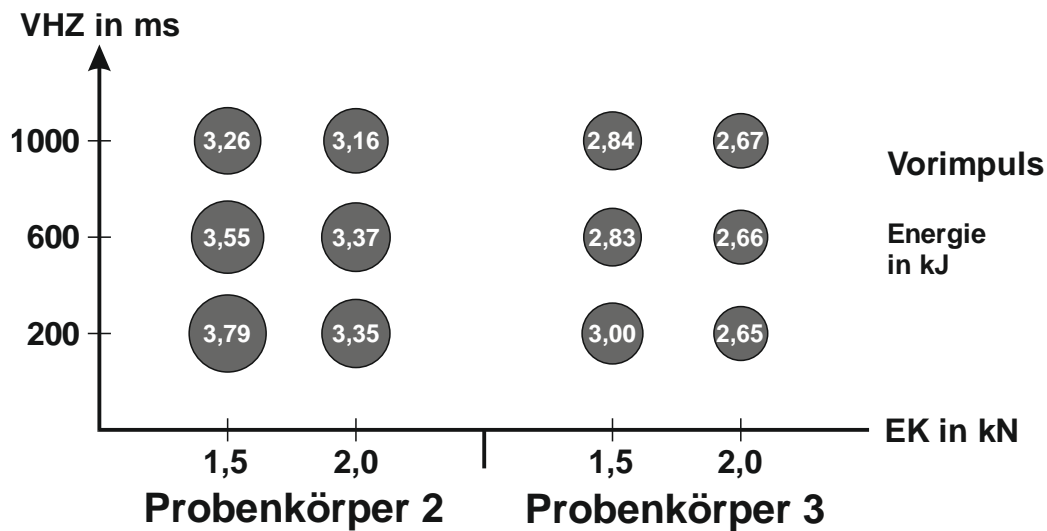


Abb. 6: erzeugte Energie im Vorimpuls in Abhängigkeit der Elektrodenvorhaltezeit (VHZ)

Die dargestellten Ergebnisse entstammen einem arithmetischen Mittel aus drei Versuchswiederholungen. Im Bereich niedriger Elektrodenkräfte (EK) kommt es in Abhängigkeit der Vorhaltezeit (VHZ) zu unterschiedlichen Energiemengen, die im Vorimpuls erzeugt werden. Dieser Zusammenhang ist beim Probenkörper 2 für beide Bereiche der Elektrodenkraft erkennbar, wodurch eine Energiezunahme zwischen einer VHZ von 1000 ms und 200 ms von etwa 16 % (EK = 1,5 kN) bzw. 6 % (EK = 2,0 kN) auftritt. Dieser Effekt ist beim Probenkörper 3 mit dem höheren Verformungswiderstand weniger stark ausgeprägt. Bei einer EK von 1,5 kN ist mit einer VHZ zwischen 1000 ms und 200 ms noch eine Energiezunahme von 6 % erkennbar. Eine höhere Elektrodenkraft zeigt hingegen bei Betrachtung der erzeugten Energie keine weitere Abhängigkeit der Vorhaltezeit auf die Klebstoffverdrängung.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Manuskript wurden verschiedene Materialkombinationen mit Klebstoffapplikationen hinsichtlich der Einflüsse von Elektrodenkraft und Vorhaltezeit auf das Prozessverhalten und auf den Einfluss der Klebstoffverdrängung untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass in Abhängigkeit der Elektrodenkraft eine Verschiebung der Schweißbereiche eintritt. Vor allem duktile Materialkombinationen, die bei den vorliegenden Elektrodenkräften plastifizieren, zeigen eine deutliche Verschiebung der Schweißbereiche in Richtung höherer Stromstärken. Durch die Plastifizierung der einzelnen Fügepartner kommt es zu einer Abnahme der Stromdichte und zu einer Zunahme der Klebstoffverdrängung sowie der Wärmeableitung. Hierdurch ist die Notwendigkeit höherer

Stromstärken für das Erreichen einer qualitätsgerechten Schweißung zu begründen. Materialkombinationen mit einem höheren Verformungswiderstand zeigen keine eindeutige Verschiebung der Schweißbereiche unter Verwendung höherer Elektrodenkräfte. Bei Verwendung verschiedener Elektrodenkräfte von 2 bzw. 3 kN variieren die jeweiligen Schweißbereichsbreiten um etwa 10 %. Da diese Schwankungen im Bereich der Wiederholgenauigkeit liegen, ist eine elektrodenkraftabhängige Veränderung der Schweißbereichsbreiten nicht erkennbar.

Durch die On-Line Messung und der Ermittlung der Gesamtenergie sowie der Darstellung der Fügequerschnitte in Abhängigkeit der Elektrodenkraft konnte die Veränderung der Linsenausbildung aufgezeigt werden. Vor allem der Probenkörper 1 zeigt aufgrund seines geringen Verformungswiderstands eine deutliche Abhängigkeit zur gewählten Elektrodenkraft. Im direkten Kontrast zeigt der Probenkörper 3 eine Stagnation der erzeugten Gesamtenergiemenge im Bereich höherer Elektrodenkräfte. Der Fügequerschnitt des Probenkörpers 1 bei einer Elektrodenkraft von 3 kN zeigt trotz der Lage im Schweißbereich eine nur unzureichende stoffschlüssige Anbindung des dünnwandigen Außenblechs. Es ist daher empfohlen neben den bereits existierenden Vorgaben zur Bestimmung des Schweißbereichs, die vollständige Eindringung der Schweißlinse in alle Fügepartner durch metallographische Untersuchungen zu verifizieren.

Durch die On-Line Messung konnte ebenfalls gezeigt werden, dass es in Abhängigkeit der Elektrodenvorhaltezeit zu einer Veränderung der erzeugten Energiemenge im Vorimpuls kommt. Aufgrund der geringen Anzahl an Versuchswiederholungen und auftretenden Schwankungen konnte der Effekt nur im Bereich geringer Elektrodenkräfte nachgewiesen werden. Folglich ist der ermittelte Einfluss durch eine höhere Versuchszahl ebenfalls für höhere Elektrodenkraftbereiche zu untersuchen. Zudem ist anzunehmen, dass eine Bewertung von Widerstandsverläufen während einer Schweißung größere Unterschiede zwischen den verschiedenen Prozessgrößen aufzeigen lässt, als eine lediglich durch Integration ermittelte Konstante. Des Weiteren ist festzustellen welchen Einfluss die Klebstoffverdrängung auf das Prozessverhalten und somit auf die Linsenausbildung ausübt.

Literatur

- [1] Schmid, G.; Korte, M.; Walther, U.: Punktschweißkleben im Automobilbau. 2001. DVS-Report 213: pp53-58. Düsseldorf. Publisher: DVS.
- [2] Weber, G.; et al., S.: Hybrid Bonding of Advanced High Strength Steels in the Lightweight Body Shell Design for Automobile Manufacturing. Materials with Complex Behaviour. 2006. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- [3] Norm DIN EN ISO 14327: Widerstandsschweißen – Schweißeignung – Teil 3: Verfahren zum Bewerten der Eignung für das Widerstandspunktschweißkleben. 2017. Berlin. Publisher: Beuth.
- [4] Richtlinie E SEP 1220-2: Prüf- und Dokumentationsrichtlinie für die Fügeignung von Feinblechen aus Stahl – Teil 2: Widerstandspunktschweißen. 2010. Düsseldorf. Publisher: Stahleisen.
- [5] Richtlinie DVS 2902-3: Widerstandspunktschweißen von Stählen bis 3 mm Einzeldicke – Konstruktion und Berechnung. 2016. Publisher: DVS.
- [6] Norm DIN EN ISO 18278-3: Widerstandsschweißen – Verfahren für das Bestimmen des Schweißbereichsdiagramms für das Widerstandspunkt-, Buckel- und Rollnahtschweißen. 2004. Berlin. Publisher: Beuth.

Autorenanschriften

Sascha Brechelt, M.Sc.

Technische Universität Clausthal

Clausthaler Zentrum für Materialtechnik

Leibnizstraße 9

38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 05323-723703

Telefax: 05323-723399

E-Mail: sascha.brechelt@tu-clausthal.de